

立山弥陀ヶ原における孤立した池塘の地下地形と成立時期

著者	朴木 英治, 加藤 咲
雑誌名	富山市科学博物館研究報告
号	45
ページ	25-36
発行年	2021-07-01
URL	http://repo.tsm.toyama.toyama.jp/?action=repository_uri&item_id=2019

立山弥陀ヶ原における孤立した池塘の地下地形と成立時期*

朴木 英治^{1),2)}, 加藤 咲³⁾

¹⁾ 立山環境研究所 930-0952 富山市町村77-27

²⁾ 富山市科学博物館登録ボランティア 939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

³⁾ 富山市科学博物館 939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

The Origin and the Time of Formation of an Isolated Pond in Tateyama Midagahara, Toyama, Japan

Hideharu Honoki^{1),2)}, and Saki Kato³⁾

¹⁾ Tateyama Environment Research, 77-27 Machimura, Toyama 930-0952, Japan

²⁾ Toyama Science Museum Volunteer, 1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama 939-8084, Japan

³⁾ Toyama Science Museum, 1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama 939-8084, Japan

The underground structure of the pond, which exists completely independently in Tateyama Oiwake, was investigated with a pin pole. In addition, particle measurement and ¹⁴C dating were performed using the collected cores. As a result, there was a rise made of hard clay just below the embankment on the ground surface, which was considered to be a remnant of the embankment formed during the last glacial period. It was estimated that the formation of the pond was before 14027 – 13754 calBP. During the last glacial period, the water depth increased due to the difference in the deposition rate of aeolian dust between the inside of the pond and the embankment and the slope outside it. It is thought that when peat began to form on the slopes during the warm season, sedimentation in the ponds progressed, leading to the present.

Key words : 池塘, 内部堤防, 風成塵, 泥炭層

キーワード : Pond, internal embankment, eolian dust, peat

1. はじめに

立山弥陀ヶ原の景観を特徴づけるものの一つが池塘である。池塘は泥炭地の緩斜面に限って見られると報告されており(小泉, 1982), 弥陀ヶ原でも同様である。

池塘の成因に関しては, くぼ地に水がたまることが発端となるという説がある(立山連峰の自然を守る会・富山大学自然環境保全グループ, 1974)。また, 池塘には発生期, 成立期, 老衰期, 消滅期という「ガキ田の輪廻」が存在するという報告もある(本多1965)。

朴木ら(2020)は弥陀ヶ原の追分に存在する一つの池塘について, 東-西, 南-北の基線上で地表面の起伏を計測し, さらに, この基線上からピンポールに一定の力をかけて順に刺し, 停止したピンポールの先端深さを計

測したところ, 池塘の堤防の直下に堤防状の地形が存在することを見出した。

この手法を利用して池塘の表面とその内部の地形を面的に計測し, 池塘の内外の土壌コアサンプル(以下, 土壌コアという)の採取・解析と土壌試料の一部の年代測定を行うことで, 池塘の成因や形成時期について何らかの知見が得られる可能性がある。そこで, 弥陀ヶ原の追分で全く独立して存在する池塘の一つを対象にして調査を行い, その成因や形成時期について検討した。

2. 調査地点および調査方法

2.1. 対象とした池塘

調査した池塘 (36°33'56.37" N, 137°32'55.36" E,

* 富山市科学博物館研究業績第575号

標高1858 m)は弥陀ヶ原迫分において、池塘が密集している斜面上にある。しかし、調査した池塘は最も近い池塘からでも約10 m離れて単独で存在しており、しかも、この池塘の流出水と連結する池塘はない。池塘は南から北へと下る緩斜面の一部にできた窪地の中に形成されており(図1)、池塘が形成されている窪地の南側(図1の左側)の傾斜は隣接する斜面の傾斜よりもやや急で、北側の傾斜は隣接する斜面よりもやや緩やかである。池塘の堤防はこの窪地から盛り上がるように形成されており、堤防面はほぼ水平に形成されている。



図1 調査した池塘。池塘の東側から西北西方向を撮影(2020年10月20日)。図中の数字は池塘の外側の地質を知るためのコア採取位置とコア番号を示す。

2.2. 調査方法

2.2.1. 地表面調査

地表面の地形の計測のため、池塘近くの南東側斜面に基点を設置し、この基点から西方向と北方向にそれぞれ調査基線を設定した。池塘の中心は基点から西方向に1.2 m、この位置から北に2.1 mの位置になるように設定した(図2)。調査区は、基点から西方向に2.4 m、北方向に3.7 mの領域に設定した。

基点と各調査位置の高さの差を比高として計測した。最初に、基点から西方向に伸ばした東西調査基線上で、直径3 mm、長さ3 mの計測棒をピンポール(長さ30~60 cm)で保持した。水準器でこの計測棒の水平を確認したのち、基点から30 cm毎に地表面から計測棒までの高さを計測し、基点の高さを差し引いて東西調査基線上の比高を30 cm間隔で求めた。

次に、基点から北方向に同じ手順で計測し、計測が終了したら、東西調査基線上に沿って計測棒を西方向に30 cm移動させて計測し、基点から240 cmの位置まで9ラインの計測データを得た。この計測データと東西調査基線上の比高データから、各計測位置の比高を計算した。

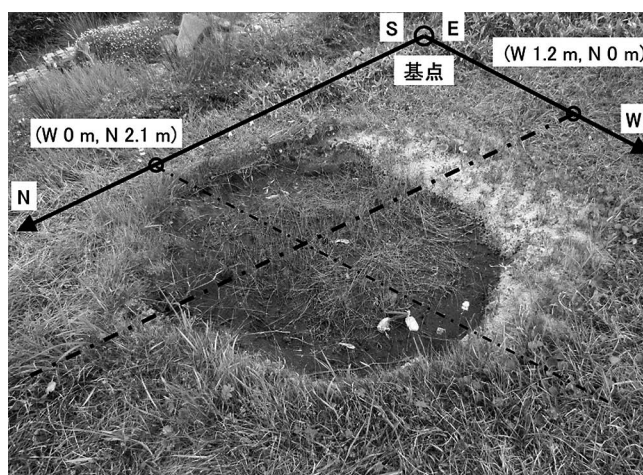


図2 調査基点と調査基線の設定。E-Wが基点から西方向の調査基線、S-Nが北方向の調査基線である。

なお、池塘周辺の起伏が大きい部分では、南北方向の計測は10~20 cm間隔で行った。

調査データを使用して10 cm間隔で等比高線図などを作成するため、計測されていない部分の比高は、南北方向と東西方向のどちらも、計測された2点の距離が20 cmの場合は両者の比高の平均値を、30 cmの場合は比例配分によって比高の補間値を計算した。

2.2.2. ピンポール調査

直径8 mm、長さ1 mのピンポールの上端にハンドルを固定し(図3)、ピンポールの先端から上に向けて1 cm毎に目盛りを付けた。

地表面の計測後、この基線を利用して、30 cm間隔で、なるべく一定の力を加えてピンポールを刺し、ピンポールがそれ以上刺さらなくなったときの先端の深さをピンポール先端深度として計測した。ピンポール調査では池塘の堤防の内側である池塘底部分と池塘の南側の流入部分を詳細に調査するため、10 cm間隔で調査した。ピンポール先端深度を比高に換算するため、調査した位置の地表の比高から刺さった深さを差し引いた。

なお、ピンポールのハンドルにスーツケース用の荷重計(50 kg用)を取り付けて、調査時にどの程度の荷重をかけているのか計測したところ、35 kg程度であった。

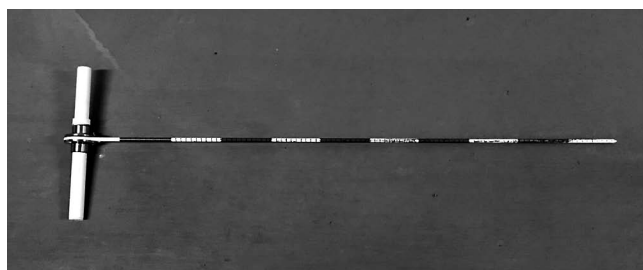


図3 調査に使用したピンポール。

2.2.3. 土壌コアの採取

土壌コア試料の採取には大起理化学工業株式会社のライナー採土器DIK-110Cを使用した。この採土器で採取できる土壌コアの直径は46 mm、長さは30 cmである。下層の土壌コアの採取は、最初のコアを抜き出した後、サンプラーから土壌コアをライナーごとに取り出し、新しいライナーを装着して元のコア穴に入れ、2本目以降のコアを採取した。

なお、池塘底堆積物は水分が多すぎてこのサンプラーではうまく採取できなかったため、長さ1 m、内径27 mmの検土丈タイプのサンプラーを使用して採取した。

土壌コアの採取は9月中旬から10月中旬にかけて行い、池塘周辺では、堤防で3本（西側、北側、南側（流入口））、池塘底1本、堤防近くの外側1本の計5本のコアを採取した（表1）。

表1 池塘周辺でのコアの採取位置。

コア名称	位置	基点からの距離	
		北(cm)	西(cm)
1 西コア	堤防西側	200	210
2 北コア	堤防北側	290	120
3 南コア	南側流入口	100	120
4 池塘低コア	池塘中央付近	200	120
5 東コア	堤防東外	210	10

堤防での土壌コア採取では、コア採取によって直径46 mmの採取穴が残るため、万一、コア穴から漏水すると池塘に水がたまらなくなる事態が想定された。そこで、堤防の幅の中心と思われる位置から若干外側の位置で土壌コアを採取し、堤防内側の土壌が多く残るようにした。同様に、池塘底では、不透水層を貫通してしまうと同様な事態に陥る可能性があるため、下部の砂礫層の位置まででサンプラーの打ち込みを止め、試料を採取した。

2.2.4. 土壌コア試料の分析

2.2.4.1. 土相の区分

採取した土壌コアを縦方向に切断して2つに分け、その断面の状態を目視で調べ、泥炭と粘土の層に大きく分け、次に、それぞれの層について色や硬さ、粒度の違いなどで、さらにいくつかに分け、コアの表面からそれぞれの層の境界位置までの

深さを計測した。なお、図4は池塘底コアと西コアの断面の比較である。

2.2.4.2. 試料採取

土壌コアの断面に内径4 mmのコルクポーラを深さ5 mm以上刺し、コルクポーラから取り出した試料の長さを5 mmにそろえて、分析用試料とした。

試料の採取位置は、層が均一な部分については2 cm毎に、異なる土壌の境界面では境界面の直上と直下の位置で採取し、それぞれの採取位置について表面からの深さを記録した。

2.2.4.3. 乾燥重量・有機物量・無機物量の計測

アルミ箔製の容器を電気炉で550℃、1時間強熱し、冷却後、再度、550℃で1時間強熱してデシケーターで冷却後、その重量を0.01 mgの単位まで計測し、試料の秤量用容器とした。2.2.4.2で採取した試料を秤量用容器に載せ、110℃で2時間加熱後、デシケーターで冷却し、0.01 mgの単位まで秤量し、秤量用容器の重量を差し引いて試料の乾燥重量とした。

乾燥試料を載せた秤量用容器を電気炉に入れ、550℃で1時間強熱し、デシケーターで冷却後、秤量した。この重量から秤量用容器の重量を差し引いて強熱残量（無機物量）を求めた。さらに、乾燥重量から強熱残量を差し引いて強熱減量（有機物量）を求めた。

2.2.4.4. 粒径範囲別の粒子個数の計測

強熱残留物を重量既知（0.1 gの単位まで計測）の300 mlビーカーに入れ、シリコン製のヘラで大きな塊をつぶし、ヘラに付着した粒子も、脱粒子水を入れた洗瓶で洗って、ビーカー内に移した。次に、脱粒子水200 ml程度をビーカーに入れ、このビーカーの重量を0.1 gの単位まで計測した。これを超音波洗浄機で5分間処理し、強熱によって固まった粒子をバラバラにした。この懸濁液をマグネチックスターラで激しく攪拌しながらホールピペットで分取し、テフロンビーカーに入れた粒子を含まない一定量の水に入れて、希釈した懸濁液を作成し、粒径1.5~150 μm の粒子の個数濃度を、液中微粒子計（HIAC 9703+D）で計測した。計測粒子数が計測上限を超えた場合は、同様な方法で再度希釈して再分析した。なお、計測した粒径範囲を表2に示した。

表2 液中微粒子計の計測粒径範囲（ μm ）。

1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0
6.0-8.0	8.0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
50-60	60-80	80-100	100-150		

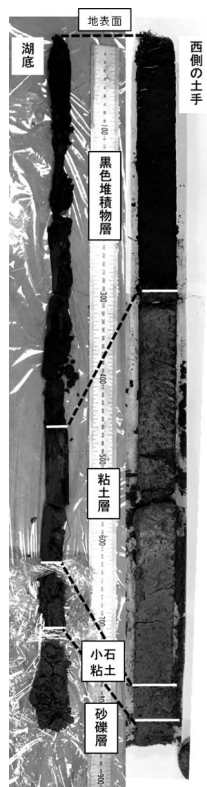


図4 西側の土手と池塘底で採取した土壌コアの写真と鉛直構造の概略。

2.2.4.5. 放射性炭素による年代測定

調査した池塘がいつごろから存在していたのかを推定するため、池塘底コアから1カ所、西コアから4カ所、年代測定用の試料を採取し、(株)加速器分析研究所で年代測定を行った(採取位置は図5に付記してある)。

3. 結果

3.1. 池塘を取り巻く地形

図5に、地表面とピンポール先端深度の計測結果から作成した等比高線図を示す。左図が地表面の等比高線図、右図がピンポール先端深度の等比高線図である。

地表面の地形(図5左)では、池塘は南北に140 cm、東西に140 cmの円に近い形のくぼみであった。ただし、図5では調査データが不足しているため、やや正方形に見える。池塘の南側にはワタミズゴケ(*Sphagnum tenellum*)が生育していた。南側以外の池塘の周囲には堤防が形成されていた。堤防の幅はどの方向も同じではなく、特に、北側の堤防は幅が広がった。池塘周辺の斜面は南から北に向かって比高が徐々に低下しているが、池塘の堤防のすぐ南側は比高の低下が少なく、北側は南側と比べて比高が大きく低下するため、堤防全体がほぼ水平に保たれていた(図5左)。

ピンポール先端深度(図5右)は、地表面から30~85 cmの深さにあり、比高では-45~-110 cmであった。この図に付記した点線は地表面の-20 cmの等比高線(図5

左)である。池塘の北東から西にかけて、この等比高線で挟まれている部分があり、この部分は地表面の堤防の真下に位置している。図5右から分かるように、地表面の堤防の真下には、ピンポール先端深度の比高が比較的高い盛り上がりが多く存在していた。同様に、池塘の東側の堤防の下に相当する部分にもピンポール先端深度の比高が比較的高い盛り上がりが存在しており、それらの頂部の比高はどれも-55 cmほどであった(以下、この盛り上りを内部堤防と言う)。これに対して、池塘の南側や南西方向には、周囲よりもさらに比高が低くなる地形が存在し、この位置の堤防下の内部には、北側や東側のような顕著な高まりは見られなかった。

池塘底は、内部堤防が存在しない池塘南側よりも比高がさらに20 cm程低くなり、しかも、中央部から東側にかけては比高が-90~-100 cm程度の平坦面を形成していた(図5右)。

3.2. 土壌コアの地層

池塘周辺で採取した土壌コア(表1)について、図6に鉛直構造の概略を示す。図6では、各コアの地表位置を、採取した位置の比高に合わせた。このため、東コア以外では各層の位置関係が分かりやすい。コアの中央付近の破線(長い線と短い隙間)は30 cmずつ採取した上下のコアの境界面、実線とPはピンポール先端深度である。

K-Ahは鬼界アカホヤ火山灰と推定される層で、どのコアも黒色堆積物の下端よりも数cm程度上側に存在していた。池塘底コアと西コアの粘土層の中の破線は質感の異なる粘土の境界面で、上側の粘土1は比較的柔らかく、指で押すと容易に変形したが、下側の粘土2は粘土1と比べて硬く、特に、西コアの粘土2は指で押してもほとんど変形しなかった。

ピンポールが停止した際の先端の位置は、池塘底コアでは砂礫層の中、西コアでは粘土2の上面から少し入った場所、北コアでは、粘土層の上面から少し入った場所であった。なお、北コアを採取した場所は他の場所よりも固く締まっていた。

西コアでは、地表面から深さ-29.5 cm(比高-39.9 cm)に黒色の土壌の層(以下、黒色堆積物層と言う。)の下端、深さ-78 cm(比高-88.4 cm)に茶色の粘土の層(以下、粘土層と言う)の下端、以深は砂利交じりの土壌の層

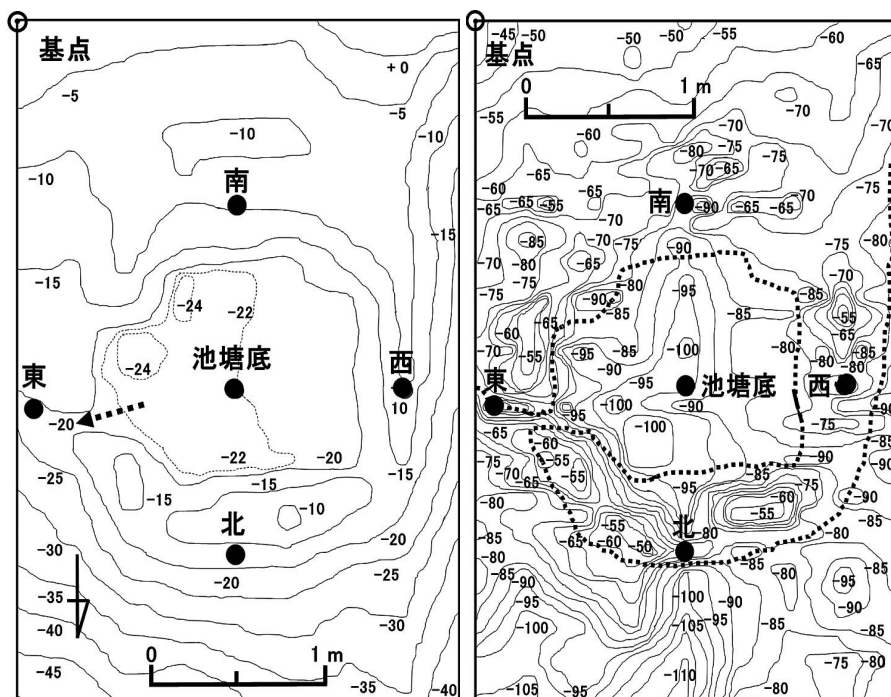


図5 池塘周辺の地表面(左)とピンポール先端深度(右)の等比高線図。●は土壌コア採取位置。左図の破線付き矢印は流出口の位置。右図の点線は左図の-20 cmの等比高線を示し、この線で挟まれた部分は堤防の一部を示す。

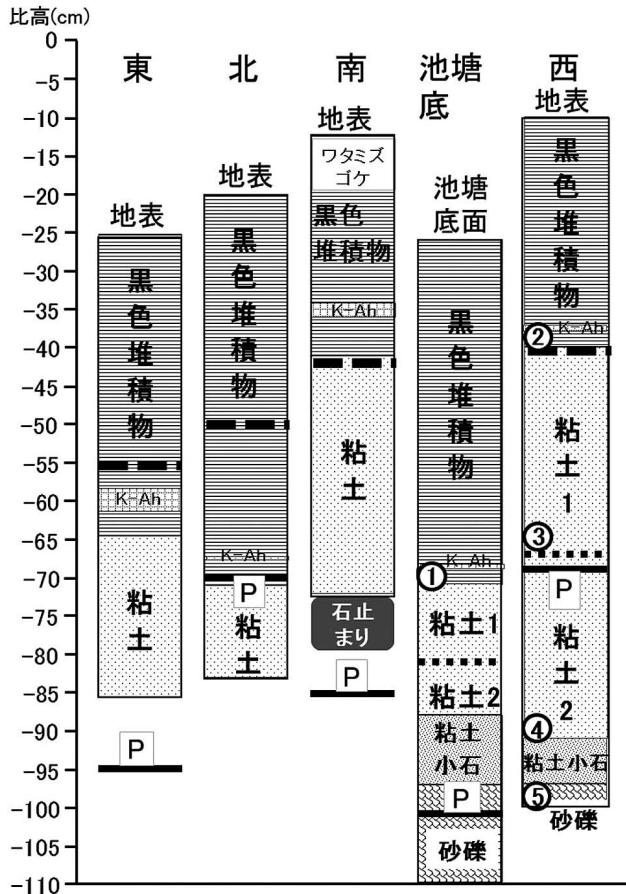


図6 池塘とその周囲で採取したコアの鉛直構造

破線は上下コアの境界、点線は粘土1（軟質）と粘土2（硬質）の境界、実線とPはピンポール先端深度、○は年代測定用試料の採取位置と試料番号である。

（砂利層）となっていた。なお、深さ-28 cm（比高-38.4 cm）には厚さ 5 mmの白色の土壌の層がみられた。池塘底コアでは、池塘底面から深さ-45 cm（比高-71.7 cm）に黒色堆積物層の下端、深さ-62 cm（比高-88.7 cm）に粘土層の下端、以深は砂利層となっていた。なお、深さ-43 cm（比高-69.7 cm）には厚さ 2 mmの白色の土壌の層がみられた。

西コアと池塘底コアを比較すると、粘土層の下端の比高はおおよそ一致し、砂礫層の上面の比高は一致していた（図6）。粘土層は西コアで層が厚く、黒色堆積物層は池塘底コアで層が厚かった（図6）。

さらに、砂礫層の下にどんな地層が隠されているのかをコア4（図1）で調べたところ、粘土層であった。

3.3. 鬼界アカホヤ火山灰層の位置

吉井・藤井（1981）は弥陀ヶ原の泥炭層の下部付近に鬼界アカホヤ火山灰層が狭在していることを報告している。また、MDG-OWK 12の黒色堆積物の最下端から4

cm上に狭在していた鬼界アカホヤ火山灰と推定される試料を富山大学の石崎教授に分析研究用試料として提供したところ、報告されている鬼界アカホヤ火山灰の分析値と一致するとの連絡を受けた（石崎、私信）。

採取した土壌コアの黒色堆積物の最下層付近には数mm～3 cm程度の色の薄い層が挟まれている。この位置はMDG-OWK 12コアの鬼界アカホヤ火山灰層が狭在していた位置に近かった。また、この部分の土壌をプレパラートに載せ顕微鏡で観察すると、MDG-OWK 12コアと同様、ガラス質の小片が観察された。これらのことから土壌コアの黒色堆積物層の最下層付近の色の薄い層を鬼界アカホヤ火山灰層K-Ahとした。

この鬼界アカホヤ火山灰層の位置を図6に併記した。鬼界アカホヤ火山灰が存在する比高は、西コアが-38 cmほど、南コアでは-35 cmほどで、ほぼ同じ比高の位置に存在していた。これに対して、池塘底コアと北コアでは、それぞれ、比高-69 cmほど、比高-68 cmほどで、両者も同程度の位置に存在していた。池塘底コアと北コアの鬼界アカホヤ火山灰層の位置は西コアや南コアよりも30 cm以上も比高が低いことになる。鬼界アカホヤ火山灰の飛来時期は、福井県の水月湖における年稿の解析から西暦1995年から起算して7325年前に飛来したことが報告されている（福沢、1995）。

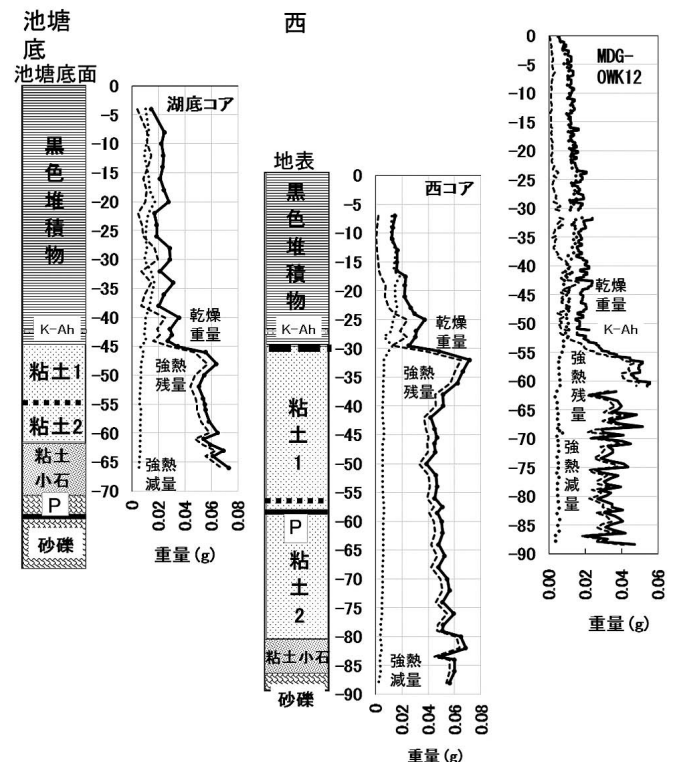


図7 池塘底コア，西コアから採取した分析試料の乾燥重量，強熱残量，強熱減量。MDG-OWK 12グラフは（朴木，2021）を引用。

3.4. 土壌コアの有機物量と無機物量

図7に池塘底コア、西コアから採取した分析試料（直径4 mm×長さ5 mm）の乾燥重量、強熱残量（無機物重量）、強熱減量（有機物重量）の深度分布と図6で使用した柱状図を示す。参考グラフとして追分のほとんど傾斜の無い斜面で採取した土壌コアMDG-OWK 12のグラフ（朴木, 2021）（試料の大きさを直径4 mm×長さ5 mmとして再計算した）をあわせて示した。それぞれのグラフは飛来年代が確定している鬼界アカホヤ火山灰層と推定される部分を一致させてある。

西コアから採取した分析試料（図7中）の乾燥重量は、深さ-7~-25 cmにかけて増加し、深さ-25~-29.5 cmにかけて減少する傾向にあった。深さ-29.5~-32 cmにかけて重量が増加し、深さ-32 cmで最大値71.2 mgとなった。さらに、深さ-32~-42 cmにかけて重量は減少し、深さ-42 cm以深は深くなるにつれて重量は大きくなる傾向にあった。強熱減量（有機物重量）は、黒色堆積物中で多く、特に、西コアの上部は乾燥重量のほとんどが有機物であった。また、粘土中にもほぼ一定量

の有機物が存在しており、粘土層上部の乾燥重量・強熱残渣量が最も重くなった位置から上層の黒色堆積層に向けて強熱減量（有機物重量）が増加し、黒色堆積物層の強熱減量（有機物重量）へとなめらかに移行していた。

池塘底コアから得た分析試料（図7左）の乾燥重量は、深さ-4~-44 cmにかけてはばらつきが大きかった。深さ-44~-48 cmにかけて重量が約2.4倍増加し、深さ-48 cmで最大値63.5 mgとなった。深さ-48~-53 cmにかけて重量は減少し、深さ-55 cm以深では重量が増加し、西コアと同様な変化を示した。黒色堆積物中の強熱減量（有機物重量）は表層部のみ強熱残量よりも多かったが、その下側から最下層付近までは強熱残量と同程度であった。この点は西コアと異なる点であったが、粘土層中にも一定量の有機物が含まれており、強熱減量（有機物重量）が粘土層上部から黒色堆積層に向けてなめらかに連続している点も同じであった。この現象はMDG-OWK 12コアでも同様に観察された（図7右）。

鬼界アカホヤ火山灰層K-Ahと推定される層の下に観察された試料重量の増加は、池塘底コアと西コアの両方に

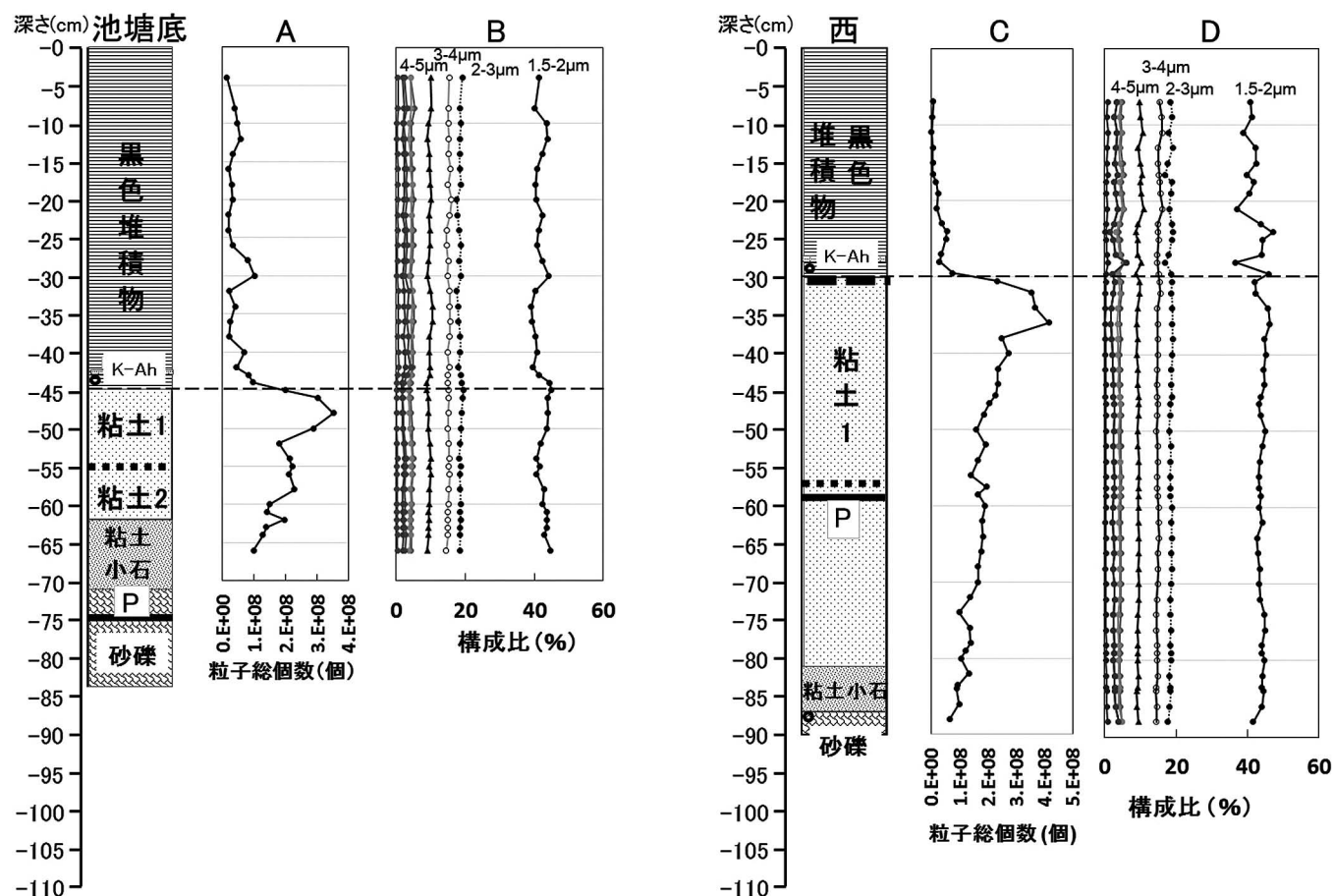


図8 池塘底コアと西コアから採取した分析試料中の粒子総個数と粒径別粒子の構成比。横方向の破線は黒色堆積物と粘土1の境界面を示す。

観察され、図7右に示したMDG-OWK 12コアも同様であった。この乾燥重量の増加は強熱残量の増加によるものであった。

また、池塘底コアの粘土層は西コアの粘土層よりも薄い、両者とも粘土層の上側の柔らかい粘土1から下側の硬い粘土2に向かって重量が増加する点も共通していた。

3.5. 土壌コアの粒子構成

図8に池塘底コアと西コアの強熱残渣（無機物）中に含まれていた粒径1.5~150 μm の粒子の粒子総個数（図8A, 8C）、及び、粒子総個数に占める粒径1.5~2.0 μm , 2.0~3.0 μm , 3.0~4.0 μm , 4.0~5.0 μm の比率（構成比）と、判例を付記していないが、5.0~6.0 μm , 6.0~8.0 μm , 8.0~10.0 μm , 10.0~20.0 μm , 20.0~40.0 μm の構成比の深度分布（図8B, 8D）を示す。

池塘底コアの場合、粒径1.5~2.0 μm の粒子の構成比は39~44 %で最も多く、粒径範囲が大きくなるにつれて構成比は低下した。また、粒径1.5~5.0 μm の粒子の構成比合計は83~87 %であった。これに対して、西コアでは、粒径1.5~2.0 μm の粒子の構成比は37~47 %, 粒径1.5~5.0 μm の粒子の構成比合計は79~90 %で、池塘底コアと比べて若干変動幅が広がった（図8B, 8D）。

池塘底コアにおける粒子総個数は、深さ-42~-48 cmにかけて増加し、深さ-48 cmでは深さ-42 cmの約8倍に増加した。粒子総個数は深さ-48 cmで最大値をとり、以深では減少傾向がみられた（図8A）。粒径1.5~2.0 μm の粒子が占める比率は、黒色堆積物で平均41.6 %, 粘土層は平均42.6 %で、粘土層の方がやや高かった（図8B）。

これに対し、西コアにおける粒子総個数は、深さ-28.0~-36.0 cmにかけて増加し、深さ-36 cmで最大値をとり、深さ-28 cmの粒子総個数の15倍となった。深さ-36 cm以深では減少傾向がみられた（図8C）。これは池塘底コアと同じ傾向であった。粒径1.5~2.0 μm の粒子が占める比率は、黒色堆積物層で平均41.8 %, 粘土層は平均43.9 %で、池塘底コアと同様、粘土層の方がやや高かった（図8D）。

図8の池塘底コアの柱状図と粒径範囲別の粒子構成比率の深度分布（図8B）、および、西コアの柱状図と粒径範囲別の粒子構成比率の深度分布（図8D）を比較すると、池塘底コアも西コアも、柱状図では黒色堆積物層と粘

土層に大きく分かれるが、粒径範囲別の粒子構成比の深度分布の変化は、土層の大きな変化と比べて、小さかった。

なお、図8では、粘土層の下層に向けて粒子総個数が減少しているにもかかわらず、図7では、乾燥重量や強熱残量が粘土層の下層に向けて増加し、しかも、重量に影響する大粒子の構成比は下層に向けてほとんど変化していない点で矛盾がある。粘土層には液中微粒子計で計測不能な黒色の重い大粒子が存在しており、これが重量の増加に寄与しているようであった。

3.6. 年代測定結果

図6の池塘底コアと西コアの柱状図に付記した①から⑤の位置で採取した試料の放射性炭素年代測定から得られた暦年較正年代を表3に示した。

池塘底コアの黒色堆積物の下端の試料①の暦年代範囲は8816 - 8638 calBPであった。しかし、西コアの黒色堆積物の下端位置の試料②では7330 - 7242 calBPであった。また、粘土1の最下端の試料③は7880 - 7740 calBP、粘土2の最下端の試料④では14027 - 13754 calBPであった。計測した試料の中では最も下の砂礫層上端の試料⑤では上の層よりも425~300年新しい年代の13602 - 13454 calBPとなった。

池塘底コアと西コアの黒色堆積物下端の試料①と試料②は同程度の暦年代範囲が得られるものと期待した。しかし、試料①ではアカホヤ火山灰の飛来年代より1500年ほど古かったのに対し、試料②は鬼界アカホヤ火山灰の

表3 年代測定用試料の2 σ 暦年代範囲*.

試料番号 測定番号	暦年較正用 (yrBP)	2 σ 暦年代範囲
① IAAA-201266	7,937 \pm 33	8985 - 8822 calBP (41.0%) 8816 - 8638 calBP (54.4%)
② IAAA-201267	6,353 \pm 32	7416 - 7395 calBP (4.4%) 7330 - 7242 calBP (69.5%) 7215 - 7167 calBP (21.6%)
③ IAAA-201268	7,002 \pm 32	7933 - 7887 calBP (24.6%) 7880 - 7740 calBP (70.8%)
④ IAAA-201269	11,957 \pm 42	14027 - 13754 calBP (94.7%) 13625 - 13615 calBP (0.7%)
⑤ IAAA-201270	11,671 \pm 42	13602 - 13454 calBP (95.4%)

*暦年較正年代は年代が既知の試料の ^{14}C 濃度をもとに描かれた較正曲線と照らし合わせ、過去の ^{14}C 濃度変化などを補正し、実年代に近づけた値である。暦年較正年代は、 ^{14}C 年代に対応する較正曲線上の範囲で、表3では2標準偏差（2 σ = 95.4 %）で示した。

飛来年代とほとんど同じであった。また、西コアの粘土1下端の試料③の年代が池塘底コアの試料①の年代よりも新しい点、最下層の試料⑤の年代が上層の試料④の年代よりも新しい点など、その意味を検討する必要があった。

4. 考察

4.1. ピンポール先端深度について

本研究で行ったピンポール調査の特徴は、ピンポールの先端深度を計測後、ピンポールを抜くと、土壌の復元力が働いて地表面には何の痕跡も残らず、その下部についても、同様な状況と推定される点にある。

調査では直径8 mm、長さ1 mのピンポールに35 kg程度の荷重をかけて刺し、ピンポールが停止した位置の地表面からの深さを計測することから、得られた結果（図5右）は地下の比較的硬い土壌の上面付近の形状を示していると考えられる。

土壌コアの柱状図（図6）からピンポール先端深度を検討すると、北コアでは黒色堆積物と粘土の境界面付近であった（図6）。また、MDG-OWK 12コアの採取地点付近でも同様であった。この位置は粒子総個数が大きく増加する部分で（図8）、この面が停止面の一つと考えられる（以下、停止面1とする）。

また、西コアでは、粘土層上部の粒子総個数が増大する部分（図8）を突き抜け、粘土層下部にある硬い粘土層の上面付近で停止していた（図6）。この面もピンポールの先端が停止する位置の一つと考えられる（以下、停止面2とする）。

さらに、池塘底コアでは、粘土層上部の粒子総個数が増大する部分やその下にある硬い粘土層を突き抜け、粘土層下の砂礫層まで届いていた（図6、8）。粘土中の粒子総個数が増大する部分やその下部の硬い粘土部分にはピンポールを停止させるだけの硬さがないと考えられる。この原因として、池塘底堆積物は水分が多い環境で堆積が進むため、堆積当初から柔らかい状態であったと考えられる。

図9は池塘の周辺で採取したコアの柱状図で、採取位置は図1に付記した。図9には比較しやすいように図5で示した西コア、東コアの柱状図も付記した。[P]はピンポール先端深度を示す。これらのうち、西コアは堤防のコアで、東コア以外は全て池塘の西側で採取した（図1）。

黒色堆積物の厚さは、コア9、コア7、コア5は同程度で、東コアはコア5より15 cm程厚かった。また、粘土層の厚さは東コアでは不明であるが、西コア以外ではコア5が最も厚い49 cmであった。コア9、コア7、コア5のピンポール先端深度は粘土層の中央よりも少し上（コア5）から下端近く（コア9）であった。現状の検討材

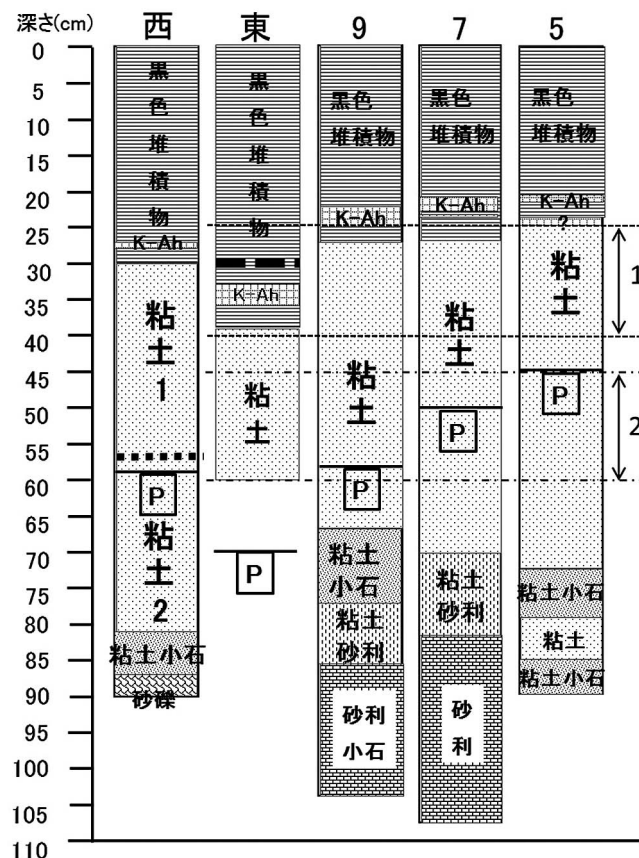


図9 池塘周辺で採取したコアの柱状図。コア番号は図1に付記した番号に対応する。Pはピンポール先端深度、柱状図横の数字は停止面1と停止面2の推定区分幅を示す。

料から、黒色堆積物が最も薄いコア5と最も厚い東コアの黒色堆積物下端付近である地表から25～40 cmほどの位置でピンポールが停止した場合は停止面1に相当するものと推定した。また、コア5とコア9のピンポール先端深度の45 cmと58 cmに若干の幅を持たせた45～60 cmの深さでピンポールが停止した場合、停止面2に相当するものと推定した。さらに、コア9では地表から68.5 cmの位置から粘土・小石層になるため、場所によっては、ピンポールが地表から70 cm以上刺さった場合、粘土層を突き抜けている可能性が考えられる。

4.2. ピンポール先端深度の地質の推定

図5右の-20 cm等比高線で囲まれた領域に、ピンポール先端深度の比高が他の場所と比べてかなり高い部分が並んでおり、それぞれのピーク位置は地表から30～40 cmほどの深さで、4.1.から考えると停止面1に相当し、黒色堆積物と粘土層の境界面と推定される。また、これらのピークの下部のピンポール先端深度は地表面から50～60 cmほどの深さにあり、停止面2に相当すると考えられ、粘土1と粘土2の境界面付近と推定される。さらに、池

塘底部でのピンポール先端深度は池塘底から深さ65~80 cmほどの位置にあり、ピンポールは砂礫層に到達していたと考えられる。

4.3. 粘土小石層・砂礫層と池塘の周辺の微地形

池塘底コアと西コアは砂礫層まで到達しており、両者の砂礫層上端の比高は同じで、少なくとも、西側堤防から池塘底まではこの層が連続していると考えられる（図6）。

池塘の西側で採取したコア9、コア7、コア5を比較すると（図9）、どのコアも粘土層の下部に小石や砂利の混ざった粘土層があり、構造がたいへんよく似ていた。地表面から小石や砂利の混ざった粘土層までの深さは、コア9、コア7、コア5では同程度の深さで、微妙な差異はそれぞれの位置の堆積環境の違いによるものと考えられるため、各コアのそれぞれの層は連続しているものと考えられる。

コア9の採取位置は南コアから西に1.6 m離れた位置で、粘土層の下の粘土小石層までは地表から69 cmの深さであった（図9）。図5右の南コア採取位置から西方向の端のピンポール先端深度は地表から60 cm程の深さで浅いが、ピンポール調査ではピンポールの先端が礫に当たって停止する場合も観察されており、コア9の粘土小石層は西コアや池塘底コアで観察された粘土小石層と連続しているものと推定される。

さて、いくつかの土壌コアの粘土層の下に観察された粘土小石層や砂礫を主体とした層は、池塘の周囲の地滑り地形と考えられる微低地やそれに隣接する微高地でも存在しており、これらの層は少なくとも図1の範囲内では連続しているものと考えられた。

4.4. 放射性炭素年代測定結果の検討

弥陀ヶ原（標高1700 m）の泥炭層の最下部の年代は8730 ± 220 calBPと報告されており（吉井・藤井, 1981）、池塘底コア（試料①）の年代の8816 - 8638 calBPが近い年代を示した。西コアの試料②の年代の7330 - 7242 calBPは鬼界アカホヤ火山灰が飛来した時期で、何らかの原因で年代が新しい方に変化したものと考えられる。

また、西コアの粘土1下端の試料③の年代は7880 - 7740 calBPであった。泥炭層は最終氷期終了後の多雪と夏の高湿の環境に変化してから形成が始まったとされており（小泉, 1982）、その下部の粘土層は、当然、最終氷期に堆積したものと推定されるが、得られた年代は、試料①よりも新しく、これも何らかの原因で年代が新しい方向に変化したものと考えられる。

池塘を取り囲む堤防は、当然、池塘底堆積物と接して

おり、図6の西コアの試料②と③の採取位置を左横の池塘底コアの柱状図と比較すると、試料②は池塘底コアの黒色堆積物の上部と、試料③は池塘底コアの鬼界アカホヤ火山灰層の少し上側の黒色堆積物と接触しており、堤防内部を池塘底堆積物中の間隙水が通過する際に新しく堆積した池塘底堆積物の炭素も堤防内に輸送したため、真の形成年代よりも新しく計測されたものと推定された。

また、西コアの最下層の試料⑤はその上部の試料④よりも新しい年代となったが、この部分は水が浸透しやすい砂礫層なので、池塘底から水が浸透する際に②や③と同じ現象が起き、年代が新しく計測されたと考えられた。

これらに対して、西コアの粘土2は硬くて水を通しにくいと考えられることや年代測定試料を採取した位置が同年代に堆積したと考えられる池塘底堆積物と接していることから（図6）、試料④で計測された年代の14027 - 13754 calBPは、試料②、③とは異なり、妥当な年代を示しているものと考えられた。

上記から考えると、調査した池塘の形成開始は少なくとも14027 - 13754 calBPよりも前という事ができ、後期更新世の終わりがさまで遡ることになる。

4.5. 池塘の内部堤防と形成時の地表面の状況

池塘の堤防部分の西コアと池塘の西側で採取したコア9、コア7、コア5を比較すると、西コアの粘土層の厚さは他のコアと比べて明らかに厚く（図9）、粘土層の堆積が進んでいた最終氷期には、少なくとも西コア付近の堤防は、現在の堤防と同様、周囲よりも高く盛り上がり、堤防横斜面の粘土層がコア9と同程度（41 cm）であった場合、堤防は10 cm程高かったと推定される。

今回のピンポール調査では当時の堤防の一部が明らかになってきたものと考えられ、図5右の-20 cm等比高線で囲まれた領域に存在している頂部の比高が同程度のいくつかの内部地形の高まりがその名残と考えられた。その点で、朴木ら（2020）が示唆した「池塘の内部堤防」は黒色堆積物に隠されてしまった「池塘の過去の堤防」と言える。

さて、MDG-OWK 12コア、西コアの粘土中にはどの部分にもほぼ一定量の強熱減量（有機物量）が含まれており、今回使用した分析試料サイズ（直径4 mm×長さ5 mm）で計測した場合の粘土層中の平均強熱減量（有機物量）はMDG-OWK 12で4.8 mg、西コアで5.8 mgで、それぞれ、両試料の乾燥重量に対して平均で13.8 %、11.6 %であった。本研究ではこの有機物を利用して放射性炭素年代測定を行っており、その炭素分の起源は当時の地表面に生育していた植物由来だと考えることができる。コアの観察から、黒色堆積物が形成される前は、粘

土層が地表面にむき出しになっていたかと想像させるが、最終氷期の寒冷な時期においてもこの場所には当時の環境に適した植物が生育し、その遺骸が堆積して若干の泥炭層を形成し、これらが池塘の堤防やその周りの斜面を覆っていたものと推定された。この薄い泥炭層は少なくとも粘土層の最下層の時代から連続して存在し、最終氷期が終了して温暖な気候になるとともに植物の生産量が増加して泥炭層も厚くなり、黒色堆積物層へと移行していったものと推定される（図7）。さらに、池塘底堆積物の粘土層中には6.5 mgもの有機物が含まれており、平均で乾燥重量の11.5 %を占めることから、池塘底の表面にも何らかの植生があったと推定された。また、池塘底コア、西コアの粘土中の有機物量はMDG-OWK 12よりも多く、池塘の水温が日射で高まり、植物の生育が池塘外よりも良かった可能性がある。

4.6. 黒色堆積物と粘土中の粒子の起源について

立山の降水中には粒子状物質（風成塵）が懸濁している（朴木・渡辺, 2019；加藤, 2020）。自然起源の風成塵粒子として、国内の近隣地域から上空に巻き上げられた土壌粒子とアジアの乾燥地帯から輸送されてきた黄砂粒子がある。黄砂現象は平地では、通常、春を中心に観測される。しかし、立山の降水は上空のみを通過する黄砂を捕捉する場合があります。日本への黄砂輸送が非常に少ないと考えられる夏期の降水でも黄砂を観測できる場合がある。黄砂を捕捉した降水中の粒子個数濃度は通常時の10倍から時には数十倍にも上昇する場合があった。

さて、降水が弥陀ヶ原一帯の泥炭地に降った場合や融雪時には、これらに懸濁していた粒子の一部が泥炭表面に捕捉されている可能性が高い。泥炭は毎年、植物の更新によって上方向に積みあがっていくため、泥炭表面に堆積した黄砂をはじめとする風成塵は年代を経るごとに土壌の下部に位置していくことになる。

今回の調査で得られた西コアや池塘底コアの粒子の粒径分布は降水中の粒子の粒径分布に近く、MDG-OWK 12コアでも同様であった（朴木, 2018. 朴木, 2021）。さらに、図8において、池塘底コアと西コアの粒子の各粒径別の粒子の構成比には、黒色堆積物層と粘土層とでは大きな違いはなく、同じ起源をもつ粒子が粘土層の下部から黒色堆積物層まで連続して積みあがっているように観察された。この理由として、泥炭層が粘土層下端から黒色堆積物層まで連続して存在していて、降水中に懸濁していた風成塵粒子を連続して補足していたためと考えられる。

さらに、MDG-OWK 12コア、西コア、池塘底コアのどれも、粘土層の上部に粒子数が大きく増加する部分を

持っている。日本列島における風成塵の輸送は冬季モンスーンが強い寒冷期に卓越すると考えられていることから（成瀬, 2003）、この部分は、最終氷期の終わりの一時的に寒冷化した時期に（ヨーロッパの気候区分のヤングドリアス期に相当）、立山への黄砂輸送量が増加し、その記録がそのまま保存されていたものと考えられた。さらに、西コアの粘土層最下端の年代は後期更新世の終わりに相当しており、この時期も現在と比べて黄砂量が多かったと考えれば、採取したコアの粘土層は最終氷期に飛来して堆積した黄砂などの風成塵が地表面の泥炭層の表面に捕捉され、保存されていたものと考えられた。

4.7. 池塘の成長過程と水環境の変化

池塘の形成初期については検討材料が不足している。少なくとも、図1で見られる池塘が位置する地滑り地形と推定される微低地やその西側の微高地が形成され、その上に砂礫層が形成されたのち、何らかの作用で池塘の原型の小さな池ができたか、最初の地滑り時にできた小さな池が出发点になっている可能性がある。そのほかの可能性として、階状土などの周氷河地形も関与したかもしれない。

西コアの粘土層最下端の堆積年代である14027 - 13754 calBPにはすでに池塘の原型の池が出来ていたとして、その後を考えると以下のような事が推定できる。

まず、図6を見ると、池塘底コアでは粘土層が薄く、西コアでは厚い。しかし、どちらも柔らかい粘土・硬い粘土の順に堆積している点、池塘底コアも西コアも共に粘土層の下層に向けて重量が増加している点（図7）、これに対して総粒子個数は下層に向けて減少している点（図8）など共通点が多い。

池塘の外側の斜面では降水によって輸送された黄砂などの風成塵が地表面の泥炭層などによって捕捉され、4.5. および 4.6. での論議のように、地表面上に積み重なるように堆積が進んでいく。朴木ら（2020）で報告したように、池塘には流入河川が存在しており、調査した池塘も南側の斜面で集められた水が流入していると考えられることから、池塘外の物質も流入して堆積が進みそうである。しかし、最終氷期の時代は泥炭層が薄かったと考えられ、このため保水力が低く、池塘の大きさに対して、降水や雪解け水の流入速度が大きすぎ、流入した水が運んできた物質のほとんどが池塘の外にそのまま流出し、場合によっては堆積物の一部も流出させるため、堤防上やその外側の斜面の堆積速度と比べて池塘底の堆積速度はかなり低下していたと考えられる。湖や池沼は物質をためこむ作用があり、形成初期の水深が最も深く、徐々に浅くなる場合が一般的であるが、この池塘の場合は反

対で、上記の作用によって、形成初期はおそらく水深が浅く、氷河時代の黄砂輸送などによって池塘の堤防が高く伸びあがり、周囲の斜面の堆積も進むため、最終氷期の間は水深が徐々に深くなっていったと推定される。これが西コアと池塘底コアの粘土層の厚さの差異の原因と考えられた。西コアと南コア、および、池塘底コアと北コアの鬼界アカホヤ火山灰位置の比高の差から（図6）、鬼界アカホヤ火山灰飛来時の池塘の水深は最大で30 cm程度あったと推定された。

なお、北コアの鬼界アカホヤ火山灰層の位置は、池塘底コアとほぼ同じ比高で（図6）、北コアの位置は少なくとも鬼界アカホヤ火山灰が飛来した時期は池塘底付近に位置していた可能性があり、その後、堆積が急速に進んで堤防化したものと考えられ、黒色堆積物の厚さが他のコアより厚い点が特徴であった（図6）。

最終氷期が終了して泥炭が厚く形成されるようになると、この池塘の集水域の保水力が大きくなり、流入水量が低下することで、池塘底堆積物が堆積できるようになった。このため池塘底コアの黒色堆積物の堆積速度は西コアの堤防の堆積速度よりも大きくなり、水深が徐々に減少して現在のようになったと推定された。

4.8. 調査した池塘の将来予想

池塘底コアと西コアの表面からアカホヤ火山灰位置までの黒色堆積物の厚さから計算した平均堆積速度は、それぞれ、0.59 cm/100年、0.37 cm/100年で、差は0.22 cm/100年であった。両者の表面の比高差は16 cmで、単純に、これが0.22 cm/100年の速度で縮まって0になる時期を試算したところ、7270年後であった。この時の堤防面の比高は現在よりも約27 cm高くなっているものと推定される。

5. 結論

立山追分で全く独立して存在している池塘について、ピンポールによる地下構造の調査、コア採取と粒子計測、年代測定を行った。その結果、地表の堤防直下に比較的硬い粘土で形成された高まりがあり、最終氷期に形成された堤防の名残と考えられた。池塘の形成開始は14027–13754 calBPよりも前と推定され、池塘の形成のきっかけについては不明であった。最終氷期の間は集水域の泥炭層が薄く、流入水量が池塘の大きさに比べて大きくなったため池塘底堆積物が堆積しにくく、堤防やその外の斜面上での風成塵などの堆積速度の方が大きくなり、水深が増加した。温暖期になって集水域に泥炭が厚く形成されるようになると流入水量が低下し、池塘底の堆積が堤防や斜面などよりも早く進み、水深が浅くなって現在に

至ったと考えられた。

6. 補遺

図10は2020年10月28日の調査対象の池塘で、水位は通常の満水に近い状態と変わらず、この時点では、堤防でのコア採取の影響はなかったと言える。



図10 積雪の中の調査対象池塘（2020年10月29日）。

7. 謝辞

本研究の一部は2020年度日本海学研究グループ支援事業（TIC第5号）の助成を受けた。

調査にあたり、環境省立山公園管理官事務所、および、林野庁富山森林管理署の承諾・許可を得た。さらに、調査に際して富山県道路公社・立山有料道路管理事務所の協力を得た。また、ミズゴケの同定は富山市科学博物館の坂井奈緒子主幹学芸員にお願いした。ここに厚く御礼申し上げる。

8. 引用文献

- 福沢仁之, 1995. 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年稿堆積物. 第四紀研究, 34 (44) : 135-149.
- 本多啓七, 1965. 日本北アルプスにおけるガキ田の生態. 北アルプスの自然, 富山大学学術調査団編, pp. 173-192. 古今書院.
- 朴木英治, 2018. 泥炭コアMDG-OWK 12の有機物量, 無機粒子量と粒径分布 (英文). 富山市科学博物館研究報告, (42) : 125-134.
- 朴木英治, 2021. 立山追分で採取したコアMDG-OWK 12の粘土層の分析データ (英文). 富山市科学博物館研究報告, (45) : 111-112.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2019. 立山における酸性雨観測結果 (2018). 富山市科学博物館研究報告, (43) : 47-51.

- 朴木 英治, 坂井 奈緒子, 加藤 咲, 大宮 徹, 福井 幸太郎, 白石 俊明, 杉田 久志, 2020. 立山の弥陀ヶ原追分地内の池塘の水循環と内部構造. 富山市科学博物館研究報告, (44) : 59-62.
- 加藤咲, 2020. 立山における酸性雨観測結果(2019) .富山市科学博物館研究報告, (44) : 103-107.
- 小泉武栄, 1982. 化石周氷河斜面, 雪食凹地ならびに山地貧養泥炭地の形成から見た晩氷期以降の多雪化について. 第四紀研究, 21 : 245-253.
- 成瀬敏郎, 2003. 風成塵・レスから見た最終間氷期以降のモンスーン変動. 地学雑誌, 112 (5) : 794-799.
- 立山連峰の自然を守る会・富山大学自然環境保全グループ, 1974. 富山大学自然環境保全グループ (編), 立山植生調査報告書, 第1号, pp. 5.
- 吉井亮一・藤井昭二, 1981. 立山, 弥陀ヶ原台地における湿原堆積物についての花粉分析 (予報). 植物地理・分類研究, 29 (1) : 40-50.